新規バス路線経路設定に関する研究
―神奈川県相模原市を例として―

大島　凜太朗　(沼田一道教授,　松浦隆文助教)

1.　はじめに

我々が日常生活を送る中で場所を移動することは必要不可欠である．移動の手段として種々の機械・交通機関があるが，ここでは多くの人が利用する公共交通機関に注目する．そこでは，中長距離の移動を主として飛行機や鉄道が担い，近距離の移動はバス等によって補完されている．公共交通手段はより多くの人の便宜をはかるため，需要のある場所を多く通り，かつ短い時間で主要地を結ぶように設営される．

近年では道路の渋滞や，環境問題を考慮して，新しい方式・技術を用いた「新交通システム」と呼ばれる新たな移動手段が全国の都市部で徐々に導入されつつある．新交通システムの導入計画を検討している都市の中に，神奈川県相模原市がある．相模原市の南部には一日 8~10 万人が利用する JR 横浜線橋本駅と小田急電鉄小田原線相模大野駅の 2 つの主要駅が存在する．また，住宅地や大学，病院，工場が多く点在していて人の往来が盛んであり，これらの間の移動の利便性が重要である．しかしながら，主要駅間を直接結ぶ交通網が現状存在しないので，地域としてのまとまりが弱いとされている． また，バス-電車の交通網が新興住宅地等の新たな移動需要に対応出来ておらず，該当地域の人々が不便を感じている．これらを克服する為に，新交通システムによる新規路線の整備案が計画されているが[1]，費用等様々な問題もあり実現には至っていない．

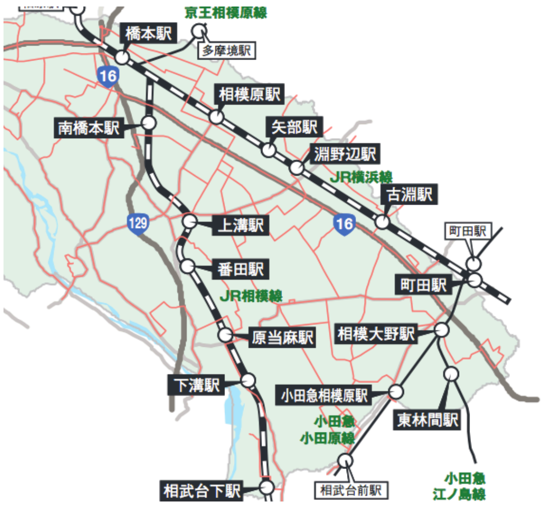

図 1 相模原市南部の概略図

そこで本研究では，現状の道路網を利用するバス路線によって，計画路線を置き換え，抱える問題に対処できないか検討する[3]．具体的には，相模原市の道路網を前提とし，新たなバス路線網を，住宅街や公共施設などの需要の高い場所を広くカバーしつつ，主要地間をできるだけ短い時間で結ぶように決定する．この問題を与えられた制約条件の下で目的関数を最大化する最適化モデルとして整理・定式化し，相模原市のデータを与えて，望ましい路線網を求めてみる．

2.　本研究で扱う問題

交差点（道路上のある地点）や鉄道の駅を点，それらを結ぶ道路を枝としたグラフを考える．各路線の経路（以下路線経路とよぶ）を考える際，その始点と終点はあらかじめ与えるものとする．すなわち，決定するのは，始終点間の経路である．まず，その始終点間の最短経路を求め，経路長が最短経路長の α 倍（α： 許容倍率）以下の経路から路線経路を選ぶ．これは，迂回距離

が長くなると乗車時間が長くなり不便な路線となってしまうからである．また各点には，需要量を表す数値を対応させる．経路上の需要値の総和をその経路の望ましさと考え，経路長の許容範囲内で，より多くの需要を覆う経路を選ぶ．ただし，路線経路の集合（経路網）を考える際，複数の路線経路に覆われた点の需要値は 1 回だけカウントするものとする．その上で，各路線経路の需要値を合計した，総需要量が最大となるように，路線経路の集合（経路網）を決定する．

このモデルを相模原市の道路網にあてはめる．各点の需要量は「相模原市町丁別人口」[1]に基づいて 10 段階で設定する．始点は，全路線について，橋本駅（に対応する点）とする．終点は相模大野駅を始めとする鉄道の駅や主要な住宅地に設定する（計 5 箇所）. 各点間の距離は google map[2]から実際の距離を求めて与える．各点間の道路条件の相違は無視し，距離は時間と等価な尺度と考える．また，バスのダイヤや運賃については考えないものとする．

3.　定式化

点の集合をN（要素数n）とし, 各点を$1,\ldots,n$で表す. 点iの需要度をw_i, 点iからjまでの距離をc_{ij}で表す．ただし$c_{ij}=c_{ji}$とする．路線の集合をK={1,…,k}で表す．第k路線の始点を$o^{(k)}$，終点を$d^{(k)}$で表す．第k路線の最短経路長を$SPL^{(k)}$で表す．第k路線の許容倍率を$\alpha^{(k)}$で表し，第k路線の限度長を$l^{(k)}=\alpha^{(k)}\cdot SPL^{(k)}$とする．つぎに決定変数を定義する．点$i(i\in N)$が第$k$路線に入っている(1)か否(0)かを 0-1 決定変数$y_i^{(k)}$で表す．第k路線を構成する経路に点iからjへ向かう枝が含まれる(1)か否(0)かを 0-1 決定変数$x_{ij}^{(k)}$で表す．点iがいずれかの路線で覆われている(1)か否(0)かを 0-1 決定変数z_iで表す．新規バス路線経路決定問題は，以上の記号を用いて，(1)~(8)式のように定式化する事ができる．

$$\text{maximaize}\quad \sum_{i\in N} w_i z_i \tag{1}$$

$$\text{subject to}\quad \sum_j x_{o^{(k)}j}{}^{(k)}=1 \qquad \forall_k \tag{2}$$

$$\sum_j x_{jo^{(k)}}{}^{(k)}=0 \qquad \forall_k \tag{3}$$

$$\sum_h x_{hd^{(k)}}{}^{(k)}=1 \qquad \forall_k, i\neq o^{(k)}, i\neq d^{(k)} \tag{4}$$

$$\sum_h x_{d^{(k)}h}{}^{(k)}=0 \qquad \forall_k \tag{5}$$

$$\sum_{h\neq d^{(k)}} x_{hi}{}^{(k)}=\sum_{j\neq o^{(k)}} x_{ij}{}^{(k)}=y_i{}^{(k)} \qquad \forall_i,\forall_k \tag{6}$$

$$\sum_i\sum_j c_{ij}\cdot x_{ij}{}^{(k)}\leq \alpha_k\cdot SPL^{(k)} \qquad \forall_i \tag{7}$$

$$z_i\leq \sum_k y_i{}^{(k)} \tag{8}$$

(部分巡回路除去制約は省略)

(1)式は, 路線で覆われた点iの需要値の合計を最大化する事を表す. (2)式は, 第k路線の始点$o^{(k)}$からいずれかの点へ向かう第k路線の構成枝が存在することを表す. (3)式は，第k路線の構成枝は始点$o^{(k)}$に向かわないことを表す．(4)式は，いずれかの点から第k路線の終点$d^{(k)}$へ向かう第k路線の構成枝が存在することを表す. (5)式は, 第k路線の構成枝は終着地$d^{(k)}$から出ていかないことを表す．(6)式は，第k路線に点iが含まれる時，いずれかの点hから出て点iへ入る第k路線の構成

枝，および，点iからいずれかの点jへ出て行く第k路線の構成枝が存在することを表す．(7)式は，第k路線の経路長は，その限度長$l^{(k)}$以下であることを表す．(8)式は，いずれかの路線が点iを通る時，点iの需要値w_iが加えられることを表す．部分巡回路除去制約は省略した．

4.　実験

3 節の定式化をモデル記述言語 GNU Math Prog[4]で記述し，フリーの汎用ソルバーGLPK[4]で解を求めた．しかし，GLPK では大きな規模の問題を解くことができなかった．そこで，GNU Math Prog の記述を，商用の汎用混合整数計画問題ソルバーGurobi の読込める形式（lp）に変換し，Gurobi[5]を用いて最適解を求めた．

実験データは，相模原市の地図[2]を基に作成し，図 2 のような道路網を想定した．また，各点間には，google map[2]から求めた距離を設定した．考える路線は計 5 路線で，始点はすべて橋本駅に当たる 1 番の点とする．終点は「相模原市町丁別人口」[1]を参考に，利用客の多い駅，人口の多い地域として，7 番点(緑区上九沢周辺)，56 番点(原当麻駅周辺)，63 番点(相模大野駅周辺)，73 番点(小田急相模原駅周辺)，25 番点(中央区田名周辺)を選んだ．路線番号は，この順に 1，2，3，4，5 と割り振る．各点の需要量については表 1 に示した「周辺人口」基づいて設定する．なお，市役所の最寄りの点には 6 点を，大学，病院の最寄りの点に関しては 8 点をそれぞれ設定する．　5 路線の最短経路はそれぞれダイクストラ法で求め，許容倍率 1.1~1.5 倍まで求解を行なう．

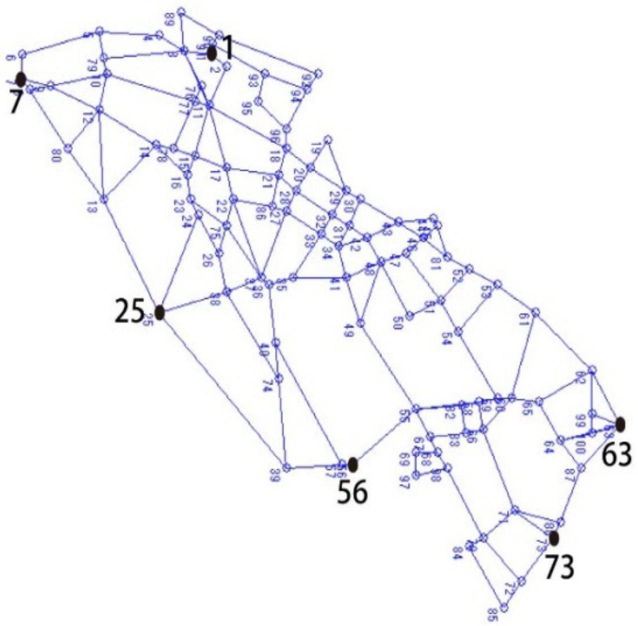

図 2　相模原市の道路網を表したモデル

表 1　人口と需要量の対応

人口(人)	需要量	人口(人)	需要量
～3499	1	13500～15999	6
3500～5999	2	16000～18499(市役所)	7
6000～8499	3	18500～20999(病院，学校)	8
8500～10999	4	21000～23499	9
11000～13499	5	23500～	10

5.　実験結果，考察

Gurobi で求解した結果，許容倍率α=1（最短経路）～1.5 における各路線経路の総距離，総需要量の点数は図 3，4 のようになった．αと獲得総需要値の関係を見ると，路線 1，3 においては，αが 1.1~1.2 の範囲で，路線 2 においては，1.1~1.2 と 1.3~1.4 の範囲で，路線.5 においては，

1~1.1 の範囲で獲得総需要値の変化が無い．一方でαの値が増えた時の総距離は，路線 5 の 1~1.1 の区間を除いて増加している．路線 1，2，5 は比較的短距離の路線であり，点間を結ぶ枝の選択肢が少ない場所を経路としている為，総需要量や総距離の変化は小さく，総獲需要量も少ない事が考えられる．　長距離路線の場合は状況が異なり，路線番号 4 はαの値が 0.1 増えるだけでも総需要量，総距離の変化は大きい．総距離が長い事だけでなく点が密集している地域を経路としている事や，枝が多い地域を通るため迂回や大回りを容易に出来るので，このような結果が現れたと考えられる．最短経路に近い場合とαの値が 1.5 に近い場合で各路線の経路重複が見受けられる為，α=1.2~1.3 の経路が良いと考える．

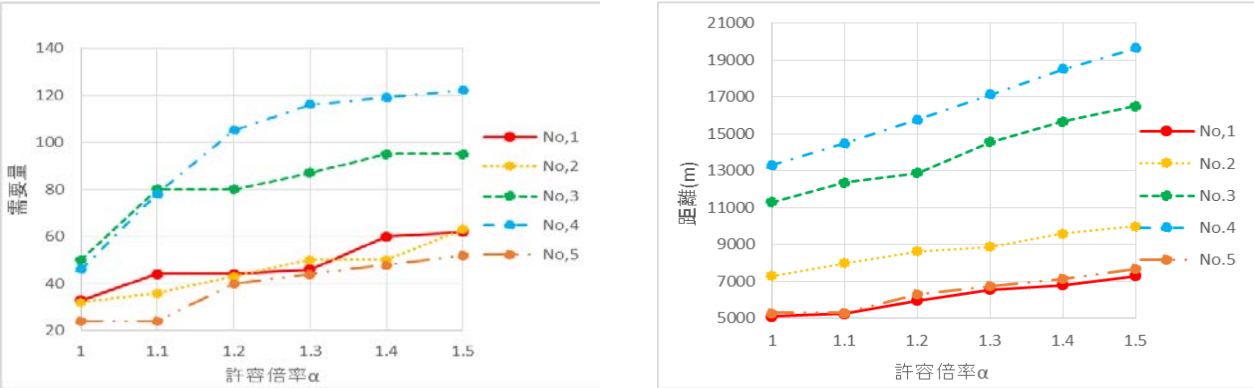

図 3 許容倍率αと総需要量及び総距離の関係

6.　まとめ

本研究では，現時点では存在しないバスの路線経路を各地域の人口をバスの需要量とみなして求めた．このとき，最短経路から許容倍率(α)を与えることで，新たなバス路線が覆う利用人口や走行距離，運行費用を考慮してバス路線経路の設定問題を扱うことが出来た．現実に即した道路網をモデルとして扱ったので，結果として求まった路線経路は容易に確認できる．他の都市や地域で同様の問題を扱う際に，考え方の一つとして利用出来ると考える．しかし，本研究での提案は経路設定の考え方の 1 つに過ぎない．実際には各地域の人口とバスの利用者数が直接比例するとは言えない．各地域でバスを利用する人の人数が把握出来ると，より現実的な路線経路が求まると考える．さらに，実際の経路を決定する際には道路事情や交通渋滞，運行ダイヤ等を考慮することが必要となるが，それらを取込んだモデルの作成は今後の課題である．

参考文献

[1] 相模原市公式サイト，http://www.city.sagamihara.kanagawa.jp/ (最終閲覧日 2013.12.20)

[2] Google map，https://maps.google.co.jp/ (最終閲覧日　2013.12.20)

[3] 南谷隆太「需要量を考慮したバス路線決定問題」東京理科大学工学部経営工学科卒業論文，(2009)

[4] GLPK スーパー簡易マニュアル，http://www.iecs.kansai-u.ac.jp/pselab/doc/easymanual.pdf (最終閲覧日　2013.12.20)

[5] Gurobi Optimization, http://www.gurobi.com/　(最終閲覧日 2013.12.20)